رابطه خاک و گیاه / سال دوازدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۰ / صفحات ۶۳-۴۹

مقاله پژوهشی

تأثیر برخی تیمارهای آلی بر غنی‌سازی روی دانه گندم رقم رخشان

پرستو ضرابی[۱]، اکرم فاطمی[۱] و مهدی صفایی خرم[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۳۰)

چکیده

غنی‌سازی زراعی از جمله روش‌های رفع مشکل کمبود روی در گندم است که با تغییر وضعیت روی در خاک، امکان استفاده از این عنصر را برای گیاه فراهم می‌آورد. کاربرد کودهای آلی می‌تواند با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و چرخه عناصر غذایی، باعث بهبود وضعیت خاک از نظر تغذیه روی شود. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر برخی کودهای آلی بر عملکرد بیولوژیک و دانه، پروتئین، غلظت روی و نسبت اسید فیتیک به روی دانه گندم در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. تیمارها شامل ده تیمار شاهد، دو نوع بایوچار چوب سخت و کاه و کلش برنج در ۳ سطح (۰/۵، ۱ و ۲/۵ درصد وزنی)، کمپوست زباله شهری (۲ درصد وزنی)، تیمارهای تلفیقی (یک درصد وزنی کمپوست + یک درصد وزنی بایوچار چوب سخت و یک درصد وزنی کمپوست + یک درصد وزنی بایوچار کاه و کلش برنج) بود. نتایج نشان داد که تأثیر تیمارها بر عملکرد دانه، نسبت اسید فیتیک به روی ($p < ۰/۰۱$)، عملکرد بیولوژیک و غلظت روی دانه ($p < ۰/۰۵$) معنی‌دار شد. عملکرد بیولوژیک و پروتئین دانه گندم در تیمارهای مورد مطالعه با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. نسبت مولی اسید فیتیک به روی دانه گندم در تیمارهای شاهد، سطوح یک و ۲/۵ درصد بایوچار چوب سخت، کمپوست و تیمارهای تلفیقی کم‌تر از ۲۵ به‌دست آمد. بر اساس نتایج این پژوهش کاربرد ۲/۵ درصد بایوچار چوب سخت، ۲/۵ درصد کاه و کلش برنج، ۲ درصد کمپوست و کمپوست + بایوچار چوب سخت به‌منظور افزایش غلظت روی در دانه گندم و کاهش نسبت مولی اسیدفیتیک به روی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بایوچار چوب سخت، بایوچار کاه و کلش برنج، کمپوست، نسبت اسید فیتیک به روی

مقدمه

بیش از ۲۵ درصد از مردم دنیا به کمبود روی، یکی از عوامل اصلی اختلال در سلامت انسان مبتلا هستند (۳۴). عامل اصلی کمبود روی در انسان‌ها رژیم غذایی وابسته به غلات معرفی شده است. غلات تأمین‌کننده ۷۰ درصد غذای مردم کره زمین هستند. سهم گندم در تولید پروتئین مورد نیاز بشر برابر مجموع سهم پروتئین ناشی از گوشت، شیر و تخم‌مرغ است (۳۵). نان قوت غالب در کشورهای جهان سوم است (۱۳). کمبود روی در انسان را می‌توان از طریق افزایش غلظت این عنصر در غلات برطرف کرد (۵۲).

تنها مسیر دائمی برای مقابله با سوء تغذیه عناصر کم‌مصرف، بهبود کیفیت غذایی محصولات زراعی به‌ویژه گندم است (۷۵).

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲. انستیتو ژئوشیمی گوانجو، آکادمی علوم چین، چین

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.fatemi@razi.ac.ir

با رفع این کمبود هم می‌توان تولید گندم را افزایش داد و هم فرآورده‌های حاصل از آن را از نظر املاح و مواد مورد نیاز بدن انسان غنی‌سازی[1] کرد (۷). غنی‌سازی ژنتیکی[2] روشی زمان‌بر و هزینه‌بر بوده درحالی که در غنی‌سازی زراعی با کوددهی و کاربرد سایر اصلاح‌کننده‌ها[3] مقدار کل و قابل جذب عناصر کم‌مصرف در بخش‌های خوراکی گیاه افزایش می‌یابد (۲۵ و ۵۹).

حدود ۵۰ درصد از خاک‌های زیر کشت غلات در جهان و ۴۰ درصد از زمین‌های زیر کشت گندم در ایران (۴ و ۱۲) دارای روی قابل جذب کم (کم‌تر از ۰/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) هستند (۶۵). آهکی بودن خاک‌های کشور، pH قلیایی، کمیِ مواد آلی و بی‌کربناته بودن آب‌های آبیاری از دلایل کمبود عناصر کم‌مصرف به‌ویژه روی در خاک‌های زیر کشت غلات کشور گزارش شده است (۵). افزایش مواد آلی خاک نقش انکارناپذیری در حفظ و توسعه کشاورزی پایدار دارد (۲۵ و ۵۰). با کاربرد کودهای آلی علاوه بر تأمین مناسب عناصر مورد نیاز گیاه می‌توان کمبود آهن، روی، مس و منگنز را در خاک‌های آهکی تا حدودی برطرف کرد (۱۵ و ۲۰). از جمله کودهای آلی می‌توان کودهای دامی، کود سبز، کود بیولوژیک، کمپوست فاضلاب و زباله شهری و بایوچار[4] را نام برد (۲۸). کاربرد کمپوست، سطح باروری خاک و عملکرد محصولات کشاورزی را با افزایش نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین عناصر کم‌مصرف، در واحد سطح ارتقا می‌دهد (۳). بایوچار فرم پایدار زغال تولید شده حاصل از گرماکافت[5] مواد کربنی (بقایای گیاهی، ضایعات چوب و کود دامی) در عدم حضور و یا حضور اندک اکسیژن در دمای نسبتاً کم (کم‌تر از ۷۰۰ درجه سلسیوس) است (۳۰ و ۴۳). سینگ و همکاران (۶۹) گزارش کردند که با کاربرد کمپوست، قابلیت جذب آهن در جو و گندم به‌دلیل افزایش فراهمی آهن خاک افزایش یافت. چریف و همکاران (۱۶) گزارش کردند که کاربرد ۴۰ و ۸۰ تن کمپوست زباله شهری پس از پنج سال پی در پی در یک خاک آهکی میزان روی و مس جذب شده توسط دانه گندم را نسبت به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی افزایش داد. گاسکین و همکاران (۲۶) گزارش کردند که با کاربرد ۱۱ تن در هکتار بایوچار پوست بادام زمینی غلظت روی، مس، آهن و منگنز در ذرت افزایش یافت. گونس و همکاران (۲۹) نیز گزارش کردند که افزودن ۱۰ گرم در کیلوگرم بایوچار کود مرغی سبب کاهش غلظت روی در گیاه کاهو شد. همان‌گونه که در مرور پژوهش‌ها دیده شد، کاربرد بایوچار سبب افزایش یا کاهش قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف از جمله روی شده است.

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) رقم رخشان، با پتانسیل عملکرد زیاد، مقاوم به زنگ‌های گندم، با کیفیت نانوایی خوب و مناسب برای کشت در مزارع آبی مناطق معتدل ایران است (۵۳). با این‌حال اطلاعات پژوهشی درباره این رقم به‌دلیل جدید بودن موجود نیست. این پژوهش با هدف غنی‌سازی زراعی عنصر روی در دانه گندم نان رقم رخشان با کاربرد برخی تیمارهای آلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های خاک: نمونه خاک رویین (تا عمق ۳۰ سانتی‌متری) از مزرعه آموزشی-پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی تهیه شده، پس از هوا-خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۰)، pH گل اشباع (۷۲)، رسانایی الکتریکی عصاره اشباع (EC) (۶۰)، کربنات کلسیم معادل (CCE) با روش تیتراسیون برگشتی (۶۸)، کربن آلی خاک (OC) به روش اکسیداسیون تر (۷۴)، گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) به روش کلرید باریم (۱۴)، نیتروژن کل به روش کلدال و با دستگاه کجل تک (Kjeltec Analyzer Unit ۲۳۰۰) (۱۰)، فسفر قابل جذب با استفاده از روش رنگ‌سنجی (۵۵) و روی قابل جذب خاک با DTPA-TEA عصاره‌گیری شده (۴۴) و با دستگاه جذب اتمی (Shimadzu- AA 6400) قرائت شد.

1. Biofortification
2. Genetic biofortification
3. Amendments
4. Biochar
5. Pyrolysis

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the studied soil.

15.0	$cmol_c\ kg^{-1}$	Cation exchange capacity	گنجایش تبادل کاتیونی
0.80	$mg\ kg^{-1}$	Available zinc	روی قابل دسترس
13.1		Available phosphorus	فسفرقابل دسترس
1.20	٪	Total nitrogen	نیتروژن کل
31.20		Calcium carbonate equivalent	کربنات کلسیم معادل
45.00		Field capacity	گنجایش مزرعه
1.45		Organic carbon	کربن آلی
0.49	$dS\ m^{-1}$	Electrical conductivity*	رسانایی الکتریکی
7.52			pH

* رسانایی الکتریکی عصاره اشباع خاک EC was measured in saturated extraction for the soil sample.

کشت گلخانه‌ای: این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه رازی کرمانشاه (دما ۲۵-۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰ درصد) در سال ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. تیمارها شامل ده تیمار شاهد، دو نوع بایوچار چوب سخت و کاه و کلش برنج در ۳ سطح (۰/۵، ۱ و ۲/۵ درصد وزنی)، کمپوست زباله شهری (۲ درصد وزنی)، تیمارهای تلفیقی (یک درصد وزنی کمپوست + یک درصد وزنی بایوچار چوب سخت و یک درصد وزنی کمپوست + یک درصد وزنی بایوچار کاه و کلش برنج) بود. بایوچار کاه و کلش برنج در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس و به‌مدت ۳ ساعت (گرماکافت آهسته) و بایوچار چوب سخت در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۳۰ دقیقه (گرماکافت سریع) تولید شد. کمپوست زباله شهری نیز از کارخانه کمپوست‌سازی کرمانشاه تهیه شد. ویژگی‌های بایوچارها در آزمایشگاه آکادمی علوم چین و کمپوست زباله شهری توسط مرکز تحقیقات خاک و آب کرمانشاه تعیین شدند (جدول ۲). ویژگی‌های شیمیایی کمپوست با روش‌های متداول تعیین شد (۱۹). اندازه‌گیری pH و رسانایی الکتریکی بایوچارها در عصاره ۱:۱۰ (بایوچار به آب مقطر) انجام شد (۳۶). کربن و نیتروژن بایوچارها با دستگاه آنالیز عنصری اندازه‌گیری شد (۵۷). برای اندازه‌گیری فسفر بایوچارها ابتدا به روش هضم خشک عصاره‌گیری شده و سپس غلظت فسفر با روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (۵۷). غلظت پتاسیم بایوچارها در عصاره حاصل از هضم تر به روش فلیم فتومتری تعیین شد (۵۷). برای تعیین غلظت روی بایوچارها، ابتدا با DTPA-TEA عصاره‌گیری شده و سپس با دستگاه جذب اتمی غلظت روی آنها اندازه‌گیری شد (۴۴). گنجایش تبادل کاتیونی بایوچارها به روش باریم کلراید اندازه‌گیری شد (۱۴).

گلدان‌های با ارتفاع و قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر با ۲ کیلوگرم خاک خشک (عبور داده شده از الک ۸ میلی‌متری) پر شدند. تعداد ۲۰ بذر گندم کشت و پس از ۱۰ روز به ۱۴ بوته تنک شد. رطوبت گلدان‌ها در حد ۷۰ تا ۸۰ درصد گنجایش مزرعه خاک (به روش وزنی) نگهداری شد. خاک موجود در گلدان را اشباع کرده و سطح آن را پوشانده تا از تبخیر سطحی جلوگیری شود. پس از ۴۸ ساعت و خروج آب تقلی از گلدان، از خاک نمونه برداشته شده و گنجایش مزرعه خاک به روش وزنی تعیین شد. پس از ۴ ماه و اتمام رسیدگی، بوته‌های گندم از سطح خاک بریده، پس از شستشو با آب مقطر در دمای ۷۰-۶۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شد. بوته‌های هر گلدان از سطح خاک برداشت شده، وزن کل آنها با دقت ۰/۰۰۱

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی بایوچار چوب سخت، بایوچار کاه و کلش برنج و کمپوست

Table 2. Some physical and chemical characteristics of hardwood biochar, rice husk biochar, and compost

	گنجایش تبادل کاتیونی Cation exchange capacity	روی قابل دسترس Available zinc	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	نیتروژن کل Total nitrogen	کربن آلی Organic carbon	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity (1:10)	pH
	$cmol_c\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$	$g\ kg^{-1}$	%	٪	٪	$dS\ m^{-1}$	
بایوچار چوب سخت Hard wood biochar	31.9	14.6	52.40	0.82	0.73	51.0	0.52	9.50
بایوچار کاه و کلش برنج Rice husk biochar	38.4	0.60	31.50	0.33	0.41	21.8	0.30	7.80
کمپوست Compost	*-	327	70.00	0.57	1.10	14.2	3.90	7.96

** اندازه‌گیری نشد. **not determined

گرم اندازه‌گیری شده و به‌عنوان عملکرد بیولوژیک در نظر گرفته شد. همچنین عملکرد دانه با توزین دانه‌ها تعیین شد.

اندازه‌گیری عناصر غذایی در دانه گندم: دانه گندم به روش هضم تر (اسید سولفوریک-اسید سالیسیلیک-آب اکسیژنه) عصاره‌گیری شد (۲۱). در عصاره حاصل، غلظت نیتروژن با دستگاه کجل‌تک اندازه‌گیری شده و مقدار پروتئین دانه از حاصلضرب درصد نیتروژن در ضریب تبدیل ۶/۲۵ محاسبه شد (۳۸). غلظت روی با دستگاه جذب اتمی و غلظت فسفر به روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات-وانادات) با دستگاه اسپکتروفتومتر (Pharmacia LKB-Novaspec-11) (۱۷) اندازه‌گیری شدند. جذب روی و فسفر از حاصلضرب غلظت هر عنصر در عملکرد دانه گندم محاسبه شدند. درصد اسید فیتیک دانه گندم از رابطه (۱) محاسبه شد (۲۳):

[۱] درصد اسید فیتیک = درصد فسفر دانه × ۳/۵۵

از آنجایی که در روش اندازه‌گیری آزمایشگاهی، مقدار اسید فیتیک حدود ۳ گرم در کیلوگرم کم‌تر از روش محاسبه‌ای آن است (۲۰)، درصد اسید فیتیک محاسبه شده از ۳ کم شدند.

نسبت مولی اسید فیتیک به روی از رابطه (۲) محاسبه شد (۲۲):

[۲] نسبت مولی اسید فیتیک به روی = (غلظت اسید فیتیک / ۶۶۰) / (غلظت روی / ۶۵/۴)

در این معادله غلظت‌های روی و اسید فیتیک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم هستند.

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 16.0، مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و بررسی همبستگی با روش پیرسون انجام شد.

نتایج و بحث

بافت خاک لوم سیلتی و گنجایش تبادل کاتیونی آن ۱۵/۰۳ سانتی‌مول بر کیلوگرم بود. خاک آهکی، غیرشور با واکنش قلیایی بود. غلظت روی قابل جذب خاک کم‌تر از حد بحرانی (یک میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های آهکی) (۴۸) به‌دست آمد (جدول ۱).

جدول ۳. تجزیه واریانس ویژگی‌های کمّی و کیفی گندم رقم رخشان با کاربرد کودهای آلی

Table 3. Analysis of variance of quantitative and qualitative characteristics of the wheat of Rakhshan cultivar influenced by organic fertilizers' application

منبع تغییرات Source of variation	درجه ازادی df	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن دانه Grain weight	پروتئین Protein	غلظت روی Zn concentration	جذب روی Zn uptake	غلظت فسفر Phosphorus concentration (P)	جذب فسفر P uptake	نسبت فسفر به روی P/Zn	اسید فیتیک Phytic acid	نسبت اسید فیتیک به روی Phytic acid/Zn
تیمار Treatment	9	13.29*	6.22**	1.40ns	129.47*	0.023**	0.009**	115.54**	1139.19**	11.69**	114.00**
خطا Error	20	4.24	0.91	1.07	41.14	0.004	0.002	26.12	197.12	2.49	19.62
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	-	15.08	20.73	8.54	16.83	26.00	22.79	15.60	24.96	19.33	28.03

*و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, ** and ns significant at 5% and 1% probability levels, and non-significant, respectively

خاک مورد بررسی (جدول ۱) از نظر حاصلخیزی در وضعیت خوبی بوده و تنها روی قابل جذب آن کم‌تر از حد بحرانی بود. دلایل انتخاب خاک این بود که تنها روی قابل جذب آن کم‌تر از حد بحرانی باشد تا اثر کاربرد تیمارها بر افزایش عملکرد تنها به‌دلیل برطرف کردن کمبود روی باشد نه برطرف کردن کمبود سایر عناصر غذایی (قانون حداقل لیبیگ). از سوی دیگر، هدف انجام این پژوهش تولید گندم بدون کاربرد کودهای شیمیایی و تنها با کاربرد کودهای آلی بود. اگر خاک در وضعیت حاصلخیزی خوبی نبود بایستی از کودهای شیمیایی برای برطرف کردن کمبود سایر عناصر غذایی استفاده می‌شد.

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارها بر عملکرد بیولوژیک گندم رقم رخشان معنی‌دار (۰/۰۵ > p) بود (جدول ۳). با کاربرد کمپوست، عملکرد بیولوژیک گندم افزایش یافت (۸ درصد در مقایسه با شاهد) ولی این افزایش معنی‌داری نبود. بارتال و همکاران (۸) گزارش کردند که با کاربرد کمپوست زباله شهری و کود شیمیایی در شرایط مزرعه‌ای، عملکرد بیولوژیک گندم افزایش یافت. همچنین در مقایسه با شاهد، با کاربرد سطوح مختلف دو نوع بایوچار عملکرد دانه گندم کاهش یافت ولی این کاهش تنها برای سطح یک درصد بایوچار چوب سخت معنی‌دار بود. کم‌ترین عملکرد بیولوژیک گندم در تیمار یک درصد بایوچار چوب سخت به‌دست آمد. با کاربرد تلفیقی کمپوست و دو نوع بایوچار در مقایسه با شاهد عملکرد بیولوژیک گندم کاهش یافت که این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۳). راندون و همکاران (۶۱) گزارش کردند که کاربرد بایوچار چوب *Eucalyptus deglupta* در سطوح ۳ و ۶ درصد وزنی سبب افزایش و در سطح ۹ درصد وزنی سبب کاهش رشد لوبیا شد. افزایش نسبت کربن به نیتروژن (C:N)، افزایش جمعیت میکروبی و در نتیجه آلی شدن نیتروژن از دلایل کاهش عملکرد گیاه با کاربرد بایوچار هستند. علاوه بر این عوامل، نوع بایوچارها نیز اهمیت دارد. سانچز و همکاران (۶۲) گزارش کردند که کاربرد بایوچار کاه و کلش گندم موجب کاهش ۱۰ درصدی و بایوچار ضایعات درخت زیتون موجب افزایش ۷ درصدی عملکرد بیولوژیک گندم شد.

عملکرد دانه گندم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه گندم بین تیمارها اختلاف معنی‌دار (۰/۰۱ > p) داشت

(جدول ۳). به‌طور کلی در مقایسه با شاهد با کاربرد کمپوست عملکرد دانه گندم افزایش یافت (۷ درصد) ولی این افزایش معنی‌داری نبود. همچنین در مقایسه با شاهد، با کاربرد سطوح مختلف دو نوع بایوچار عملکرد دانه گندم کاهش یافت. ولی این کاهش تنها برای سطح ۰/۵ درصد هر دو نوع بایوچار معنی‌دار بود. کم‌ترین عملکرد دانه گندم در بین همه تیمارها، در تیمار یک درصد بایوچار چوب سخت به‌دست آمد. اگرچه با کاربرد تلفیقی کمپوست و دو نوع بایوچار در مقایسه با شاهد عملکرد دانه گندم کاهش یافت، این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۳). تأثیر بایوچار بر عملکرد گیاه به فاکتورهای مختلف از جمله وضعیت حاصلخیزی اولیه خاک، بافت خاک، دمای تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بایوچار و حتی نوع گیاه بستگی دارد و می‌تواند باعث افزایش یا کاهش عملکرد گیاه شود. برخی پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد برخی بایوچارها موجب کاهش عملکرد گیاه شدند (۴۲ و ۷۶). لهمان و همکاران (۴۲) بیان کردند که بایوچار به‌خاطر نسبت C:N زیاد ممکن است فراهمی نیتروژن خاک برای گیاه را محدود کند. نسبت C:N در بایوچار چوب سخت، بایوچار کاه و کلش و کمپوست به‌ترتیب ۶۹/۹، ۵۳/۲ و ۱۲/۹ به‌دست آمد (جدول ۲). بنابراین، افزایش عملکرد در تیمار کمپوست و کاهش آن در تیمارهای بایوچار را می‌توان به نسبت C:N آن‌ها نسبت داد. همچنین، کاهش عملکرد دانه گندم با کاربرد دو نوع بایوچار را می‌توان به افزایش درصد پروتئین دانه گندم نسبت داد. اگرچه تأثیر تیمارها بر درصد پروتئین دانه گندم معنی‌دار به‌دست نیامد ($p > ۰/۰۵$)، بررسی همبستگی رابطه معنی‌داری ($r = -۰/۴۶^*$) بین درصد پروتئین و عملکرد دانه گندم را نشان داد. یافته‌های پژوهش‌های پیشین همبستگی منفی بین عملکرد و غلظت نیتروژن دانه را گزارش کردند (۹). کیبیت و اونتس (۴۱) اثبات کردند که همبستگی منفی بین عملکرد دانه و غلظت نیتروژن دانه به‌علت عوامل ژنتیکی نبوده و تحت تأثیر حاصلخیزی خاک، آب قابل دسترس و دیگر عوامل محیطی است. افزایش درصد پروتئین دانه گندم با کاربرد تیمارهای مورد بررسی را می‌توان به افزایش قابلیت جذب روی خاک برای گندم با کاربرد تیمارها در نتیجه افزایش پروتئین‌سازی نسبت داد. ثواقبی فیروزآبادی و همکاران (۶۳) افزایش پروتئین دانه گندم با افزایش روی دانه را گزارش کردند. بیش‌ترین غلظت روی دانه گندم در تیمار یک درصد بایوچار چوب سخت به‌دست آمد که بیش‌ترین درصد پروتئین دانه گندم در بین تیمارها را به خود اختصاص داد. همچنین کم‌ترین غلظت روی دانه گندم در تیمارهای با کم‌ترین درصد پروتئین دانه گندم (۲/۵ درصد بایوچارهای کاه و کلش برنج و چوب سخت) دیده شد (جدول ۴).

یکی دیگر از دلایل عملکرد بیش‌تر تیمار شاهد در مقایسه با تیمارهای مورد بررسی، این است که روی قابل جذب خاک برابر حد بحرانی روی خاک در پژوهش‌های گلخانه‌ای (۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است (۱۸). حد بحرانی روی خاک در پژوهش‌های گلخانه‌ای با نتایج پژوهشگران دیگر (۱، ۲۴ و ۴۴) همخوانی دارد. بنابراین، گندم رقم رخشان در این شرایط توانسته است روی مورد نیاز گیاه را برداشت کند. در حالی که با کاربرد تیمارهای آلی و افزایش قابلیت جذب روی خاک، جذب روی افزایش یافته است که در بخش بعدی بیشتر بحث می‌شود.

غلظت و جذب روی دانه گندم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارها بر غلظت ($p < ۰/۰۵$) و جذب روی ($p < ۰/۰۱$) دانه گندم معنی‌دار بود (جدول ۳). غلظت روی دانه گندم پیش از کشت اندازه‌گیری شد و مقدار آن ۲۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. با کاربرد تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش در مقایسه با شاهد، غلظت روی دانه گندم ۴۸/۸ درصد (۲/۵ درصد بایوچار کاه و کلش برنج) تا ۲/۱۴ برابر (تیمار تلفیقی کمپوست + بایوچار کاه و کلش برنج) افزایش یافت. غلظت بهینه روی دانه گندم بین ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گزارش شده است (۴۴). ملکوتی و همکاران (۴۸) حد کفایت روی دانه گندم را ۵۰-۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. بر همین اساس، غلظت روی دانه

جدول ۴. مقایسه میانگین ویژگی‌های کمّی و کیفی گندم رقم رخشان با کاربرد کودهای آلی

Table 4. Mean comparison of quantitative and qualitative characteristics of the wheat of Rakhshan cultivar influenced by organic fertilizers' application

تیمار Treatment	سطح Levels (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن دانه Grain weight	پروتئین Protein	غلظت روی Zn concentration	جذب روی Zn uptake	غلظت فسفر Phosphorus concentration (P)	جذب فسفر P uptake	نسبت فسفر به روی P/Zn	اسید فیتیک Phytic acid	نسبت اسید فیتیک به روی Phytic acid/Zn
		g pot^{-1}		%	mg kg^{-1}	mg pot^{-1}	(%)	mg pot^{-1}	-	g kg^{-1}	-
شاهد Control	0	19.21^{ab}	9.19^{ab}	12.83^{ab}	49.85^{abc}	0.45^{ab}	0.35^{bc}	32.42^{bc}	72.74^{cd}	9.52^{bc}	19.48^{cd}
بایوچار چوب سخت Hard wood biochar	0.5	16.45^{bc}	6.67^{c}	12.30^{ab}	43.40^{bc}	0.29^{de}	0.42^{abc}	27.74^{cd}	97.79^{abc}	12.01^{abc}	27.55^{bc}
	1	13.35^{c}	4.68^{d}	14.26^{a}	56.84^{a}	0.27^{e}	0.47^{a}	22.19^{d}	83.51^{bcd}	13.85^{a}	24.15^{bcd}
	2.5	18.27^{ab}	7.80^{bc}	12.05^{b}	50.97^{abc}	0.40^{bcd}	0.43^{a}	34.11^{abc}	85.94^{bcd}	12.55^{a}	24.40^{bcd}
بایوچار کاه و کلش برنج Rice husk biochar	0.5	15.59^{bc}	6.72^{c}	13.18^{ab}	43.66^{bc}	0.29^{de}	0.47^{a}	31.40^{bc}	107.79^{ab}	13.74^{a}	31.09^{ab}
	1	18.81^{ab}	8.44^{abc}	12.49^{ab}	41.15^{c}	0.34^{b-e}	0.42^{ab}	36.32^{abc}	83.51^{bcd}	12.33^{ab}	29.78^{ab}
	2.5	18.20^{ab}	7.93^{bc}	12.05^{b}	40.91^{c}	0.32^{cde}	0.50^{a}	39.84^{ab}	122.87^{a}	14.71^{a}	35.91^{a}
کمپوست Compost	2	20.76^{a}	9.82^{a}	12.98^{ab}	53.85^{ab}	0.53^{a}	0.42^{ab}	42.29^{a}	81.37^{bcd}	12.33^{ab}	22.98^{bcd}
کمپوست+بایوچار چوب سخت Compost+ hard wood biochar	1-1	18.57^{ab}	8.13^{abc}	12.74^{ab}	52.39^{abc}	0.43^{abc}	0.34^{c}	28.00^{cd}	66.82^{d}	9.19^{c}	17.74^{d}
کمپوست+بایوچار کاه وکلشبرنج Compost+ rice husk biochar	1-1	16.78^{bc}	7.78^{bc}	12.05^{b}	59.09^{a}	0.45^{ab}	0.35^{bc}	27.37^{cd}	62.15^{d}	9.41^{bc}	16.67^{d}

در هر ستون میانگین هایی که دارای حرف مشترک هستند دارای تفاوت آماری در سطح ۵ و ۱ نمی‌باشند.

Means with the same letter in each column are not significantly different at probability levels of 5

گندم (۵۹/۱-۴۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در محدوده کفایت قرار دارد. در تیمارهای ۲/۵ درصد بایوچار چوب سخت، کمپوست و تیمارهای تلفیقی غلظت روی دانه گندم بیش‌تر از ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در تیمار تلفیقی کمپوست + بایوچار کاه و کلش برنج بیش‌ترین غلظت روی دانه گندم (۵۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بین همه تیمارها به‌دست آمد. همچنین غلظت روی دانه گندم در تیمار یک درصد بایوچار چوب سخت و تیمار تلفیقی کمپوست + بایوچار کاه و کلش برنج اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). افزایش روی دانه گندم به‌دلایلی مانند وجود روی در کودها (جدول ۲) و همچنین افزایش غلظت کمپلکس‌های محلول روی در خاک در نتیجه آزادسازی اسیدهای آلی در طول تجزیه کودهای آلی و افزایش ورود روی از فاز جامد به درون محلول خاک است (۶۳). غلظت روی دانه گندم با به کاربردن مواد آلی در خاک، صرف نظر از نوع ماده آلی، افزایش می‌یابد. علت افزایش غلظت روی دانه گندم این است که فلزات پس از جذب توسط ریشه، به آسانی از ساقه به دانه انتقال داده می‌شوند (۵۴). اگرچه بیش‌ترین جذب روی دانه گندم در تیمار کمپوست دیده شد،

با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار جذب روی در بین تیمارها در تیمار یک درصد چوب سخت دیده شد (جدول ۴). ژانگ و همکاران (۷۶) گزارش کردند که کاربرد کمپوست سبب افزایش غلظت روی در گیاه گندم و جو شد.

غلظت و جذب فسفر دانه گندم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای آلی بر غلظت فسفر ($p < ۰/۰۱$) و جذب فسفر ($p < ۰/۰۱$) دانه گندم معنی‌دار بود (جدول ۳). غلظت فسفر دانه گندم تحت تأثیر تیمارها از ۲۰ تا ۴۲/۸۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. بیش‌ترین غلظت فسفر دانه گندم مربوط به تیمارهای ۰/۵ و ۲/۵ درصد بایوچار کاه و کلش برنج، یک و ۲/۵ درصد بایوچار چوب سخت بود. بیش‌ترین جذب فسفر (۴۲/۴۹ میلی‌گرم بر گلدان) نیز در تیمار کمپوست دیده شد. جذب فسفر دانه گندم بین تیمارهای کمپوست، ۲/۵ درصد بایوچار چوب سخت، یک و ۲/۵ درصد بایوچار کاه و کلش برنج اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). با کاربرد مواد آلی، فسفر قابل جذب گیاهان افزایش یافته و همچنین با جلوگیری از رسوب فسفات به‌صورت فسفات آهن و آلومینیوم و فسفات کلسیم به‌طور غیرمستقیم فسفر قابل جذب گیاهان افزایش می‌یابد (۵۸). افزایش جذب فسفر با کاربرد کمپوست پیش‌تر گزارش شده است. حاتم و رونقی (۳۱) گزارش کردند که با افزایش کمپوست جذب فسفر جو افزایش یافت. سوماره و همکاران (۷۰) و محمودآبادی و همکاران (۴۵) در پژوهش‌های جداگانه‌ای گزارش کردند که کاربرد کمپوست سبب افزایش جذب فسفر توسط یونجه شد. آن‌ها دلایل عمده افزایش جذب فسفر با کاربرد کمپوست را زیاد بودن غلظت این عنصر در کمپوست و افزایش فعالیت ریزجانداران حل‌کننده فسفر معدنی در خاک بیان کردند. گلاسر و همکاران (۲۷) و لهمان و همکاران (۴۲) افزایش فسفر قابل استخراج در خاک‌های مناطق گرمسیری اصلاح‌شده با انواع بایوچار را گزارش کردند. واکاری و همکاران (۷۲) بیان داشتند که با کاربرد بایوچار در شرایط رطوبت کافی خاک فسفر قابل جذب گیاه افزایش یافت. سوختن و یا زغال شدن مواد آلی تا حد زیادی می‌تواند سبب افزایش فراهمی فسفر بافت گیاهی شود. متصاعدشدن کربن و شکستن پیوندهای فسفر آلی سبب باقی ماندن نمک‌های محلول فسفر همرا با مواد زغال شده می‌شود (۳۷).

نسبت فسفر به روی دانه گندم: نسبت فسفر به روی همبستگی زیادی با نسبت اسیدفیتیک به روی دانه دارد که از نظر جذب روی توسط انسان عامل بسیار مهمی است. نسبت فسفر به روی در ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای روی گیاه مناسب‌تر از غلظت روی به تنهایی است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارها بر نسبت فسفر به روی دانه گندم ($p < ۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول ۳). با کاربرد تیمارها به استثنای تیمارهای تلفیقی نسبت فسفر به روی دانه گندم نسبت به شاهد افزایش یافت (۶۸/۹–۱۱/۸۶ درصد).

افزایش نسبت فسفر به روی دانه با کاربرد برخی تیمارها به برهمکنش منفی فسفر و روی نسبت داده شد (۶۳). نتایج بررسی همبستگی، همبستگی منفی و معنی‌داری بین غلظت‌های فسفر و روی دانه گندم ($r = -۰/۳۶^*$) و بین جذب فسفر و جذب روی دانه گندم ($r = -۰/۳۸^*$) نشان داد. گزارش‌های شارما و همکاران (۶۷)، خان و زند (۳۹)، سینگ و همکاران (۶۹) و ثوابقی فیروزآبادی و همکاران (۶۳) برهمکنش منفی بین فسفر و روی را گزارش کردند. برهمکنش فسفر و روی یکی از شناخته شده‌ترین و مؤثرترین برهمکنش‌های عناصر غذایی است که در کمّیت و کیفیت محصولات کشاورزی و تولیدات باغی دارای اهمیت به‌سزایی است. این برهمکنش در خاک، مرحله جذب، انتقال و یا استفاده فیزیولوژیک در گیاه است و مکانیسم‌های متعددی در خصوص این برهمکنش عنوان شده است (۴۶).

اسید فیتیک دانه گندم: فسفر جذب شده در گیاهان به‌طور عمده به شکل اسید فیتیک ($C_۶H_{۱۸}O_{۲۴}P_۶$، میواینوزیتول هگزا فسفات) در همه دانه‌ها و بذور گیاهان ذخیره می‌شود (۵۶).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای آلی بر اسید فیتیک دانه گندم معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۱$) (جدول ۳). با کاربرد تیمارها غلظت اسید فیتیک دانه گندم حدود ۲۶/۱۵ تا ۵۴/۵۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (به‌استثنای تیمارهای تلفیقی). بیش‌ترین غلظت اسید فیتیک دانه گندم ۱۴/۷۱ گرم بر کیلوگرم در تیمار ۲/۵ درصد بایوچار کاه و کلش برنج به‌دست آمد (جدول ۴). عوامل گیاهی و محیطی از جمله تغذیه گیاه می‌تواند بر مقدار اسید فیتیک دانه مؤثر باشد. برخی ارقام غلات و حبوبات دارای پتانسیل تجمع کم‌تر این ماده هستند (۶۳). مامیش و تومار (۵۱) غلظت اسید فیتیک را در آرد نان‌های ایرانی ۰/۳ گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک دانه گزارش کردند. با این وجود این شاخص به‌تنهایی قادر نخواهد بود قابلیت جذب روی برای مصرف‌کننده را نشان دهد و جذب این عنصر به عوامل دیگری از جمله نسبت مولی اسید فیتیک به روی و پروتئین دانه نیز بستگی دارد (۳۲، ۳۳ و ۷۸).

نسبت مولی اسید فیتیک به روی دانه گندم: کم‌خونی ایرانی، ناشی از کمبود توأم آهن و روی (۶۵) به اسید فیتیک نسبت داده شده است (۲ و ۶). از آنجایی که اسید فیتیک در روده انسان جذب نشده، عناصر معدنی کلات شده با آن نیز بدون اینکه جذب شوند از روده عبور کرده و دفع می‌شوند. به همین دلیل، نسبت مولی اسید فیتیک به روی به‌عنوان شاخص قابلیت جذب روی در غذاها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۹ و ۴۰).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای آلی بر نسبت اسید فیتیک به روی دانه گندم معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۱$) (جدول ۳). نسبت مولی اسید فیتیک به روی در همه سطوح بایوچار چوب سخت، کمپوست و تیمارهای تلفیقی با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت. بیش‌ترین نسبت مولی اسید فیتیک در سطوح تیمار بایوچار کاه و کلش برنج دیده شد (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد که نسبت مولی اسید فیتیک به روی در تیمارهای تلفیقی به‌طور معنی‌داری از همه سطوح بایوچار کاه کلش برنج کم‌تر بود (جدول ۴). کم بودن نسبت اسید فیتیک به روی در تیمار شاهد (۱۹/۵) به‌دلیلی که پیش‌تر اشاره شد، ارتباط دارد. از آنجایی که مقدار روی قابل جذب در خاک مورد بررسی به سطح بحرانی روی خاک در پژوهش‌های گلخانه‌ای (۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نزدیک بود، گندم رقم رخشان در تیمار شاهد کارایی خوبی در جذب روی خاک نشان داد. ملکوتی (۵۰) نسبت مولی اسید فیتیک به روی در گندم‌های ایران را بیش‌تر از ۶۰ گزارش کرد. ملکوتی (۵۰) رقم گندم، آهکی بودن زمین‌های زراعی، کاربرد نامتعادل کودها به‌ویژه کودهای فسفاته و عدم مصرف کودهای حاوی روی را از دلایل زیاد بودن نسبت مولی اسید فیتیک به روی در گندم‌های ایران گزارش کرد. ملکوتی (۵۰) نسبت مولی اسید فیتیک به روی دانه گندم کم‌تر از ۲۵ را برای قابلیت جذب روی مناسب دانسته است. ملکوتی و همکاران (۴۸) مشاهده کردند که با مصرف متعادل کودها و استفاده از کودهای حاوی روی نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه گندم به حدود ۲۶ کاهش یافت. ملکوتی و همکاران (۴۹) بیش‌ترین نسبت مولی اسید فیتیک به روی را در تیمار شاهد به میزان ۳۱ و کم‌ترین آن (برابر با ۱۷) در تیمار مصرف بهینه کود در رقم الوند گزارش کردند. ملکوتی و لطف‌اللهی (۴۶) نسبت مولی اسیدفیتیک به روی در آرد گندم در ایران را ۳۹/۹ و ۲۵/۴ گزارش کردند. نسبت مولی اسید فیتیک به روی دانه گندم رقم رخشان در تیمارهای تلفیقی، کمپوست، سطوح یک و ۲/۵ درصد بایوچار چوب سخت کم‌تر از ۲۵ به‌دست آمد (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم رقم رخشان تنها در تیمار کمپوست افزایش یافت که این افزایش معنی‌دار نبود. عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم در سایر تیمارهای آلی کاهش یافت ولی این کاهش معنی‌دار نبود (به‌استثنای تیمار یک درصد بایوچار چوب سخت). با کاربرد تیمارهای آلی درصد پروتئین دانه افزایش یافت که این افزایش معنی‌دار نبود. بنابراین، در عین‌حال که

کاهش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار نبوده، ویژگی‌های کیفی (درصد پروتئین، غلظت‌های روی و فسفر و کاهش نسبت اسید فیتیک به روی) دانه گندم در برخی تیمارها تا حدودی بهبود یافته است. نسبت مولی اسید فیتیک به روی دانه گندم رقم رخشان در تیمارهای تلفیقی (کمپوست + بایوچار چوب سخت و کمپوست + بایوچار کاه و کلش برنج)، کمپوست، سطوح یک و ۲/۵ درصد بایوچار چوب سخت کم‌تر از ۲۵ به‌دست آمد (p > ۰/۰۵). بنابر یافته‌های این پژوهش به‌منظور پیشنهاد کودی، کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بایوچار چوب سخت، ۲/۵ درصد کاه و کلش برنج، ۲ درصد وزنی کمپوست زباله شهری و تیمار تلفیقی (یک درصد وزنی کمپوست + یک درصد وزنی بایوچار چوب سخت) بسته به دسترسی به کودهای آلی پیشنهاد می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که قابلیت جذب روی گندم رقم رخشان در شرایط مزرعه‌ای با کاربرد تیمارهای پیشنهاد شده بررسی شود.

منابع مورد استفاده

1. Agrawal, H.P., 1992. Assessing the micronutrient requirement of winter wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23(17–20): 2555–2568.
2. Alea, G.V., Noel, M.G., 2007. Phytic acid in edible legume seeds. *Journal of Research in Science, Computing and Engineering Research* 4(2): 19–22.
3. Alizade, P., Fallah, S., Raeisi, F., 2012. Potential N mineralization and availability to irrigated maize in a calcareous soil amended with organic manures and urea under field conditions. *International Journal of Plant Production* 6(4): 493–512.
4. Alloway, B.J., 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Second Ed., IZA and IFA Press, Brussels, Belgium and Paris, France.
5. Alloway, B.J., 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health* 31(5): 537–548.
6. Anderson, J.J.B., 2004. Minerals. In: Mahan, L.K., Escott-Stump, S. (Eds.), Krause's Food: Nutrition and Diet Therapy. 11th Ed., W. B. Saunders Co., USA, pp. 120–163.
7. Balali, M.R., Malakouti, M.J., 2002. Effects of different methods of micronutrient application on the uptake of nutrients in wheat grains in 10 provinces. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences* 15(2): 1–11.
8. Bar-Tal, A., Yermiyahu, U., Beraud, J., Keinan, M., Rosenberg, R., Zohar, D., Fine, P., 2004. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by wheat and their distribution in soil following successive, annual compost applications. *Journal of Environmental Quality* 33(5): 1855–1865.
9. Bayat, Z., Ahmadi, A., Sabokdast, M., 2011. Genotypic variation for yield and grain protein concentration and its relationship with nitrogen remobilization in Iranian wheat. *Iranian Journal of Crop Science* 42(3): 565–573. (in Persian with English abstract)
10. Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal* 54(5): 464–465.
11. Bremner, J.M., 1996. Nitrogen total. In Sparks, D. L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert R.H. (Eds.), Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods. SSSA/ASA Inc., Madison, WI, 5: 1085–1121.
12. Cakmak, I., 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil* 247(1): 3–24.
13. Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil* 302(1–2): 1–17.
14. Chapman, H.D., Pratt, P.F., 1962. Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. Agricultural Publications, University of California, Berkeley, 309 pp.
15. Chen, Y., Stevenson, F.J., 1986. Soil organic matter interactions with trace elements. In: Chen, Y., Avnimelech, Y. (Eds.), The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Springer, Dordrecht, pp. 73–116.
16. Cherif, H., Ayari, F., Ouzari, H., Marzorati, M., Brusetti, L., Jedidi, N., Daffonchio, D., 2009. Effects of municipal solid waste compost, farmyard manure and chemical fertilizers on wheat growth, soil composition and soil bacterial characteristics under Tunisian arid climate. *European Journal of Soil Biology* 45(2): 138–145.
17. Cottenie, A., 1980. Soil and Plant Testing as a Basis of Fertilizer Recommendations. Faculty of Agricultural Sciences, State University Press, Gent, Belgium.

18. Darajeh, Z., and Karimian, N.A. 1992. Comparison of several methods of determination of soil available zinc of land under the dam in Dorodzan, Fars province, The Abstracts of 3rd Iranian Soil Science Congress, Karaj, Iran. 2: 35–49. (in Persian with English abstract)
19. Davoudi M.H., Shahbazi K., Feizollahzadeh Ardebil, M., Rezaie, H., 2015. Methods of Organic Fertilizers' Analysis. Technical Publication No. 531. Soil and Water Research Institute, Tehran.
20. Ebrahimi, S., Bahrami, H.A., Homaee, M., Malakouti, M.J., 2005. The Role of Organic Matters on the Improvement of Soil Fertility. Sana Press, Tehran, Iran.
21. Element, C.A.S. 2007. Method 3051A microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. *Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie* 111: 362–366.
22. Erdal, I., Yilmaz, A., Taban, S., Eker, S., Torun, B., Cakmak, I., 2002. Phytic acid and phosphorus concentrations in seeds of wheat cultivars grown with and without zinc fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 25(1): 113–127.
23. Feil, B., Fossati, D., 1997. Phytic acid in triticale grains as affected by cultivar and environment. *Crop Science* 37(3): 916–921.
24. Feiziasl, V., 2009. Comparison of different methods for determining the Zn critical level of dryland wheat in the Northwest of Iran. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)* 22: 133–149. (in Persian with English abstract)
25. Frossard, E., Bucher, M., Mächler, F., Mozafar, A., Hurrell, R., 2000. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80(7): 861–879.
26. Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S., 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal* 102(2): 623–633.
27. Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal–a review. *Biology and Fertility of Soils* 35(4): 219–230.
28. Gunadi, B., Edwards, C.A., Blount IV, C., 2003. The influence of different moisture levels on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) in cattle and pig manure solids. *European Journal of Soil Biology* 39(1): 19–24.
29. Gunes, A., Inal, A., Taskin, M.B., Sahin, O., Kaya, E.C., Atakol, A.R.D.A., 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use and Management* 30(2): 182–188.
30. Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G., Close, D., 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? *Plant and Soil* 376(1-2): 347–361.
31. Hatam, Z., Ronaghi, A., 2012. Influence of compost and compost leachate on growth and chemical composition of barley and bioavailability of some nutrients in calcareous clay loam soil and sandy soil. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences* 58(15): 109–122. (in Persian with English abstract)
32. Holmgren, G.G.S., Meyer, M.W., Chaney, R.L., Daniels, R.B., 1993. Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. *Journal of Environmental Quality* 22(2): 335–348.
33. House, W.A., 1999. Trace element bioavailability as exemplified by iron and zinc. *Field Crops Research* 60(1–2): 115–141.
34. Humayan Kabir, A., Swaraz, A. M., Stangoulis, J., 2014. Zinc deficiency resistance and biofortification in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177(3): 311–319.
35. Imam, Y., 2011. Cereal Cultivation. Third ed., Shiraz University Press, Shiraz, Iran.
36. International Biochar Initiative, 2012. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil IBI biochar standard. Retrieved April 11, 2012, Available online at http://www.biochar-international.org/characterizationstandard.
37. Karer, J., Wimmer, B., Zehetner, F., Kloss, S., Soja, G., 2013. Biochar application to temperate soils: effects on nutrient uptake and crop yield under field conditions. *Agricultural and Food Science* 22(4): 390–403.
38. Keeney, D.R., Nelson, D.W., 1982. Nitrogen in organic forms. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Method of Soil Analysis. Part II. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 643–698.
39. Khan, A.A., Zende, G.K., 1977. The site for Zn-P interactions in plants. *Plant and Soil* 46(1): 259–262.
40. Khoshgoftarmanesh, A.H., Schulin, R., Chaney, R. L., Daneshbakhsh, B., Afyuni, M., 2010. Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30(1): 83–107.
41. Kibite, S., Evans, L.E., 1984. Causes of negative correlations between grain yield and grain protein concentration in common wheat. *Euphytica* 33(3): 801–810.
42. Lehmann, J., da Silva, J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B., 2003. Nutrient availability and leaching in

an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249(2): 343–357.
43. Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), 2015. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. Routledge.
44. Lindsay, W.L., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42(3): 421–428.
45. Mahmoodabadi, M., Amirabadi, Z., Amini, S., Khazaeipoul, K. 2010. Fertilization of soybean plants with municipal solid waste compost under leaching and non-leaching conditions. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 8(1): 55–59.
46. Malakouti, M.J., 2011. Towards improving the quality of consumed breads in Iran: A review. *Quarterly Journal of Food Science and Technology* 8(31): 11–21. (in Persian with English abstract)
47. Malakouti, M.J., Karimian, N.A., Keshavarz, P., 2008. Comprehensive method of optimal fertilizer detection and recommendation for sustainable agriculture. 7th ed., Tarbiat Modares University Press, Tehran.
48. Malakouti, M.J., Lotfolahi, M.A., 1999. The role of zinc in increasing the quantity and quality of agricultural products and improving community health "Zinc is a forgotten element". First ed., Agricultural Education Affiliated with the Office of Educational Technology Services of the Ministry of Jihad Agriculture Press, Tehran.
49. Malakouti, M.J., Malakouti, A., Majid, A., Bybordi, A., Salari, A., Fallahi, A., 2010. Comparison between wheat enrichment in the farm with flour fortification in the factory in promoting society's health level. *Journal of Food Science and Technology* 6(3): 117–130.
50. Mameesh, M.S., Tomar, M., 1993. Phytate content of some popular Kuwaiti foods. *Cereal Chemistry* 70(5): 502–503.
51. Marschner, H., 2011. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third ed., Academic Press. School of Agriculture, Food and Wine, The University of Adelaide, Australia.
52. Najafian, G., Bakhtiar, F., Nazeri, A., Afshari, F., Ghandi, A., Nabati, E.A., Zakeri, A.K., Hassan Pour, J., Tabatabaei, N.A., Yassaei, M., Atahossaini, M., Khodarahmi, M., Nikzad, A.R., Ahmadi, Gh.H., Nikooseresht, R., Jafar Nezhad, A., Abdi, H., Faizabadi, A., 2018. Rakhshan, new bread wheat cultivar, with high grain yield potential, resistance to wheat rusts and good bread-making quality and suitable for irrigated conditions in temperate agro-climatic zone of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops* 7(1): 31–47. (in Persian with English abstract)
53. Narwal, R.P., Singh, B.R., 1998. Effect of organic materials on partitioning, extractability and plant uptake of metals in an alum shale soil. *Water, Air, and Soil Pollution* 103(1–4): 405–421.
54. Olsen, R.J., Hensler, R.F., Attoe, O.J., 1970. Effect of manure application, aeration, and soil pH on soil nitrogen transformations and on certain soil test values. *Soil Science Society of America Journal* 34(2): 222–225.
55. Potter, B.V.L., 1990. Recent advances in the chemistry and biochemistry of inositol phosphates of biological interest. *Natural Product Reports* 7(1): 1–24.
56. Rajkovich S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R, Lehmann, J., 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils* 48: 271–284.
57. Reddy, D.D., Rao, A.S., Rupa, T.R., 2000. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Bioresource Technology* 75(2): 113–118.
58. Rengel, Z., Batten, G. D., Crowley, D.D. 1999. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Research* 60(1–2): 27–40.
59. Rhoades, J.D., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods 5: 417–435.
60. Rondon, M.A., Lehmann, J., Ramírez, J., Hurtado, M., 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils* 43(6): 699–708.
61. Sánchez-Sánchez, A., Sánchez-Andreu, J., Juárez, M., Jordá, J., Bermúdez, D., 2006. Improvement of iron uptake in table grape by addition of humic substances. *Journal of Plant Nutrition* 29(2): 259–272.
62. Savaghebi Firouzabadi, GH.R., Malakouti, M.J., Ardalan, M.M., 2003. Effects of zinc sulfate application as well as seed zinc concentration on responses of wheat plant in a calcareous soil. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 34(2): 471–482. (in Persian with English abstract)
63. Schulin, R., Khoshgoftarmanesh, A.H., Afyuni, M., Nowack, B. Frossard, E., 2008. Effects of soil management on zinc uptake and its bioavailability in plants. In: Garys, B., Zhi-Qing, L. (Eds.), Development and Uses of Biofortified Agricultural Products. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 95–114.
64. Sedaghati, M., Shahedi, M., Kodivar, M., 2006. Evaluation of phytase activity in three wheat cultivars and the effect of fermentation, hot hydration and heating treatments on it. In: 2nd Major Conference and Exhibition of Food Industry, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, September 12–14. (in Persian with English abstract)

65. Shahbazi, K., Besharati, H., 2013. Overview of the fertility status of Iranian agricultural soils. *Journal of Land Management* 1(1): 1–13. (in Persian with English abstract)
66. Sharma, K.C., Krantz, B.A., Brown, A.L., Quick, J., 1968. Interaction of Zn and P in top and root of corn and tomato. *Agronomy Journal* 60(5): 453–456.
67. Sims, J.T., 1996. Lime requirement. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods 5: 491–515.
68. Singh, J.P., Karamanos, R.E., Stewart, J.W.B., 1986. Phosphorus-induced zinc deficiency in wheat on residual phosphorus plots. *Agronomy Journal* 78(4): 668–675.
69. Singh, Y., 2004. Effect of nitrogen and zinc on wheat irrigated with alkali water. *Annals of Agricultural Research* 25: 233–236.
70. Soumare, M., Tack, F.M.G., Verloo, M.G., 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresource Technology* 86(1): 15–20.
71. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E., 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. SSSA/ASA, Madison, WI.
72. Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., Miglietta, F., 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy* 34(4): 231–238.
73. Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37(1): 29–38.
74. Welch, R.M., Shuman, L., 1995. Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 14(1): 49–82.
75. Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., Zhang, X., 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant and Soil* 351(1□2): 263–275.
76. Zhang, M., Heaney, D., Solberg, E., Heriquez, B., 2000. The effect of MSW compost on metal uptake and yield of wheat, barley and canola in less productive farming soils of Alberta. *Compost Science and Utilization* 8(3): 224–235.
77. Zhou, J.R., Erdman Jr, J.W., 1995. Phytic acid in health and disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 35(6): 495–508.

Effect of Soil Organic Treatments on Zinc Biofortification of Wheat Grain Cv. Rakhshan

P. Zarabi[1], A. Fatemi[1]* and M. Safaie Khorram[2]

(Received: 03 January 2021; Accepted: 19 April 2021)

Abstract

Agronomic biofortification is one of the approaches to alleviate zinc deficiency in wheat. In this approach by changing the status of zinc, it could be available to plant. The application of organic fertilizers can stimulate physicochemical properties of soil and nutrition cycling which enhances zinc bioavailability. This study was conducted to evaluate the application of some organic compounds on grain zinc concentration and phytic acid to zinc ratio in wheat grain, biological yield, and grain yield of Rakhshan cultivar. The study was set as a completely randomized design with three replications during 2017-2018 in a greenhouse. The treatments were: control, hard wood biochar, and rice husk biochar with three levels: 0.5, 1, 2.5% (w/w), compost at 2% (w/w), and integrated treatments including compost + hard wood biochar, compost + rice husk biochar, with 1% (w/w) of each one. Results showed a significant effect ($p < 0.05$) of treatments on grain yield, phytic acid to zinc ratio ($p < 0.01$), biological yield, and grain zinc concentration. The biological yield and protein content of wheat grain were not significantly different between control and the studied treatments. The phytic acid to zinc ratio of wheat grain was less than 25 for control, as well as for 1% and 2.5% of hard wood biochar, compost, and integrated treatments. Therefore, depending on their availability, the applications of 2.5% hard wood biochar, 2.5% rice husk biochar, 2% compost, or hard wood biochar+compost are recommended as organic fertilizers.

Keywords: Compost, Hard wood biochar, Phytic acid to zinc ratio, Rice husk biochar.

Background and Objective: Zinc (Zn) is one of the micronutrients essential for human health. Among micronutrients, Zn deficiency seems to be the most critical one in crop production. The Zn content is lower than 1 mg kg^{-1} in most soils of Iran, resulting in lower grain Zn in cereal-based diets especially bread as the staple food. Among the major interventions currently used to reduce Zn deficiency in humans, food fortification and supplementation are being widely applied in some countries. To improve the Zn concentration of grains, two strategies are available: genetic biofortification and agronomic biofortification. The genetic biofortification approach is long-term and costly. In contrast, agronomic biofortification is a fast approach. It has been reported that the application of Zn fertilizers improves Zn concentration in cereal grains. Agronomic biofortification allows the plant to use soil Zn by changing the status of Zn availability in the soil. The average organic carbon content in the calcareous soils of Iran is less than 1 %. The application of organic fertilizers can improve soil nutritional status by affecting soil physical and chemical properties. This study aimed to investigate the effect of some

1- Soil Science Department, Razi University, Kermanshah, Iran.
2- Research Fellow, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, China.
* Corresponding Author, Email: *a.fatemi@razi.ac.ir*

organic fertilizers' application on Zn concentration and phytic acid (PA) to Zn ratio in wheat grain, biological yield, and grain yield of Rakhshan cultivar. Rakhshan is a newly released bread wheat cultivar and there is no available information about its response to application of organic fertilizers in respect to Zn bioavailability.

Methods: This study was conducted as a completely randomized design with three replications in a greenhouse at Razi University during 2017–2018. The treatments were control, hard wood biochar, and rice husk biochar with three levels: 0.5, 1, and 2.5 %w/w, compost at 2 %w/w, and integrated treatments including compost + hard wood biochar, compost + rice husk biochar, with 1 %w/w of each one. Hard wood biochar and rice husk biochar were produced by fast pyrolysis and slow pyrolysis, respectively. The effects of treatments on biological yield, grain yield, grain Zn and phosphorus concentrations were studied.

Results: The results showed that the effect of treatments on grain yield, biological yield, and Zn concentration in wheat grain was significant. The highest biological and grain yields were obtained for compost treatment. The Zn concentration ($p < 0.05$) and Zn uptake ($p < 0.01$) in wheat grain showed significant differences between the treatments. The Zn concentration in wheat grain ranged from 40.9 to 59.1 mg kg^{-1}. The highest Zn concentration in wheat grain was observed for compost + rice husk biochar treatment. It is worthy to note that this level of Zn in wheat grain is at a sufficient level. The results of the analysis of variance (ANOVA) showed that there were no significant differences in biological yield, Zn concentration of wheat grain between 1% hard wood biochar and compost + rice husk biochar treatments. Results also showed significant differences of phosphorus concentration ($p < 0.01$), phosphorus uptake ($p < 0.01$), and phosphorus to Zn ratio ($p < 0.01$) in wheat grain between the treatments. The effect of treatments on PA of wheat grain was also significant. The lowest PA in wheat grain was observed in integrated treatments. The PA to Zn ratio in wheat grain at 1% and 2.5% of hard wood biochar, compost, and integrated treatments was less than 25. This critical level has been considered as Zn bioavailability in the wheat grain to humans.

Conclusions: This study showed that, except for 1% hard wood biochar, there were no significant differences in biological yield and grain yield of wheat between treatments and control. By application of organic fertilizers, protein content of wheat grain increased although this increase was not significant ($p > 0.05$). The results also showed that with the application of the studied treatments, the concentration of Zn in the wheat grain of the Rakhshan cultivar was increased to a sufficient level for human diet. Besides, with the application of 1% and 2.5% of hard wood biochar, compost, and integrated treatments the PA to Zn ratio of wheat grain can be reduced to less than 25. Therefore, for fertilizer recommendation, the application of 2.5% of hard wood biochar, 2.5% rice husk biochar, 2% compost, or hard wood biochar + compost depending on their availability is suggested.

References:

1. Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil* 302(1-2): 1–17.
2. Schulin, R., Khoshgoftarmanesh, A.H., Afyuni, M., Nowack, B. Frossard, E., 2008. Effects of soil management on zinc uptake and its bioavailability in plants. In: Garys, B., Zhi-Qing, L. (Eds.), Development and Uses of Biofortified Agricultural Products. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 95–114.
3. Malakouti, M.J., Malakouti, A., Majid, A., Bybordi, A., Salari, A., Fallahi, A., 2010. Comparison between wheat enrichment in the farm with flour fortification in the factory in promoting society's health level. *Journal of Food Science and Technology* 6(3): 117–130.